

РАСЧЕТ АППАРАТА УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ИЗ ВОДЫ ПРИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ

А.И. Сечин, д.т.н., профессор

Н.В. Пилипец, к.т.н., зав. НПЛ «Чистая вода»

А.П. Матвеев, аспирант ФГАОУ ВО НИ Томский политехнический университет

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

Разработка методов и средств очистки воды от солей жесткости, снижение в ней токсичных и вредных для организма примесей в условиях Западной Сибири является актуальной задачей при реализации питьевого водоснабжения.

Цель работы: Разработать расчет аппарата удаления из воды солей жесткости при механоактивации.

При разработке опытного образца технологического аппарата необходимы исходные данные, которые бы послужили основой для проектирования оборудования.

При расчете аппарата механоактивации задавали: рабочий объем, диаметр D , высоту H аппарата и его рабочие параметры (p - рабочее давление, t - температура, c - концентрация распределяемой среды); фазовое состояние перемешиваемой среды и ее физико-механические свойства (ρ - плотность, μ - динамическая вязкость), а также ее состав по жидкой или твердой фазе.

Экспериментальным путем был определен диапазон чисел Рейнольдса, при установлении которых в воде происходит значительное снижение солей жесткости. В результате проведенных вычислений было определено, что процесс перемешивания при числах оборотов мешалки 1650 – 17000 об/мин является турбулентным (таблица 1).

Таблица 1. Значение чисел Рейнольдса в зависимости от числа оборотов мешалки

Обороты/мин	1650	4500	6000	7000	10000	12000	17000
Число Рейнольдса	57976	158115	210820	245957	351367	421640	597323

В пределе при Re стремящимся к $+\infty$ может быть достигнута 100% однородность раствора или суспензии, однако скорость вращения ограничивается скоростью вращения мешалки 17000 об/мин. На основании опытных данных, были получены характеристики аппарата интенсивного перемешивания с применением (таблица 2) шестилопастной мешалки для умягчения воды.

Таблица 2. Характеристика аппарата интенсивного перемешивания

Тип мешалки	Характеристика мешалки			
	D/d	H/D	b/d	S/d
Шестилопастная	2,02	0,3	0,12	0,4

Примечание: D – диаметр сосуда; d – диаметр мешалки; H – высота слоя жидкости в мешалке; b – ширина лопасти мешалки; S – шаг между лопастями).

Для интенсификации процесса очистки воды от образовавшихся солей жесткости обработанный раствор находился в отстойнике в течение 2-10 минут, а затем подвергался фильтрованию через волокнистый материал.

По полученным экспериментальным данным для фильтрации суспензии при напоре $0,53 \cdot 10^5$ Па скорость фильтрации составляла $0,11 \cdot 10^{-3}$ м/с. Тогда в соответствии с уравнением [1, 2] скорость фильтрации:

$$\omega = \frac{\Delta P}{\mu \cdot (R_{oc} + R_{фп})} \quad (1)$$

Подставив в уравнение (1) численные значения ω , ΔP и μ , получаем $(R_{oc} + R_{фп}) = 3,62 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$.

Подставляя в это же уравнение численные значения ω , ΔP и μ , полученные для воды, получаем $R_{фп} = 3,44 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$ тогда

$$R_{oc} = (R_{oc} + R_{фп}) - R_{фп} = 0,18 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1} \quad (2)$$

Полученные экспериментальные данные по удалению осадка твердых частиц с достаточно малыми размерами фильтрацией через волокнистую насадку с диаметром пор от $2,39 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ до $3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ объясняются следующей, наиболее вероятной, гипотезой. Очевидно, что частицы осадка оседают в порах фильтра по механизму «касания» в две стадии.

На первой стадии большая часть твердых частиц заполняет боковые, «глухие» и поперечные поры в фильтрующей насадке, практически не задерживаясь в продольных порах, через которые и проходит поток фильтруемой жидкости. Сопротивление насадки на этой стадии остается практически неизменным, что и отмечено в постановочных экспериментах по изменению скорости фильтрации при постоянном напоре [2].

На второй стадии частицы осадка оседают в изгибах продольных пор, снижая их рабочее сечение и резко увеличивая сопротивление фильтрующей насадки, так как размер частиц меньше размера пор всего в 1,7 – 2,14 раз, тем более что поры имеют переменные размеры по длине. Это подтверждается вычисленным значением удельного сопротивления осадка по уравнению

$$r_{oc} = 200 \cdot (1 - \varepsilon)^2 \Phi^2 / d_{ш}^2 \varepsilon^3 = 8,48 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-2}, \quad (3)$$

где, ε - порозность осадка, 0,73, Φ – фактор формы частиц, 1,33. Сопротивление слоя такого осадка толщиной 0,01 м равно $R_{oc} = 0,85 \cdot 10^{-11} \text{ м}^{-1}$ и в 4,6 раза меньшей величиной сопротивления осадка в продольных порах насадки, составляющей всего $0,18 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$. Тем не менее, и эта малая величина осадка в продольных порах резко сказывается на фильтрующих характеристиках фильтра [3].

Из выполненных экспериментов следует, что независимо от скорости фильтрации и концентрации твердых частиц в суспензии, критичным для волокнистой насадки высотой 0,1 м, площадью фильтрации 1 м^2 , диаметром волокна 2,8 мкм и порозностью 0,8056 является масса накопленного в насадке осадка 1,89 - 1,9 кг.

С учетом проведенных вычислений уравнение фильтрации запишется следующим

образом:

$$\Delta P = \frac{4,819 \cdot 10^9 dV}{d\tau F} \quad (4)$$

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено:

Удельная электропроводность, солесодержание, жесткость, вязкость, pH, окислительно-восстановительный потенциал зависят от интенсивности перемешивания (от 1650 до 17000 об/мин).

Время контакта фаз, необходимое для умягчения воды до 76 % составило 43 с, размер зародыша кристалла, образованный в результате воздействия 0,072 % мас. среднеквадратичный диаметр частиц – 1,419 мкм.

Разработанная малогабаритная установка, на основе предложенной методики расчета аппарата удаления солей жесткости из раствора водопроводной воды, имеет производительность до 30 л/час.

Список литературы:

1. Косинцев В. И., Михайличенко А. И., Крашенинникова Н. С., Миронов В. М., Сутягин В. М. Основы проектирования химических производств: Учебник для вузов /Под ред. А. И. Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига» 2010. – 371 с.
2. Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С.В., Куликова М.В., Прокудин И.А., Косинцев М.В., Фильтрационная очистка сточных вод // Современные наукоемкие технологии, 2008, - № 4. - С. 74-76.
3. Физико-химические основы химических процессов получения неорганических солей: учебное пособие / В.И. Косинцев, М.В. Куликова А.И. Сечин, С.В. Бордунов, И.А. Прокудин– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 58с.